

OPTICAL DEVICE USING NEAR-FIELD LIGHT

Publication number: JP2003028774 (A)

Publication date: 2003-01-29

Inventor(s): KIGUCHI MASAFUMI; MATSUMOTO TAKUYA;
HASHIZUME TOMIHIRO; ODA ISAMU +

Applicant(s): HITACHI LTD +

Classification:

- International: G01Q10/00; G01Q60/18; G01Q60/22; G01Q70/06;
G01Q80/00; G11B7/135; (IPC1-7): G01N13/14; G11B7/135

- European: B82Y15/00; B82Y20/00; G01Q60/22

Application number: JP20010217545 20010718

Priority number(s): JP20010217545 20010718

Also published as:

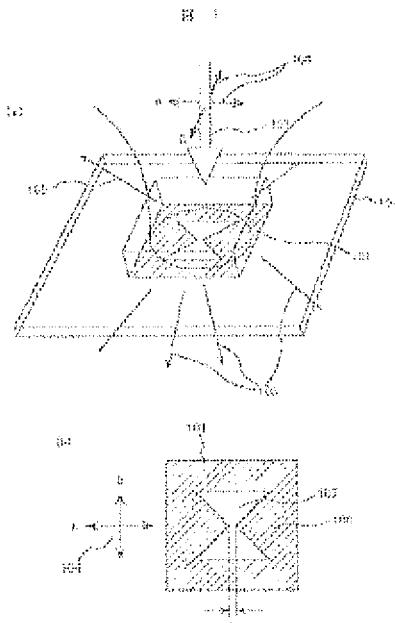
JP3793430 (B2)

US2003015651 (A1)

US6949732 (B2)

Abstract of JP 2003028774 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a near-field optical device having both high space resolution and high sensitivity. **SOLUTION:** High-intensity near-field light is generated in a narrow region by using localized plasmon generated on a metal pattern 106 having an anisotropic shape, and a measuring object is illuminated therewith. The polarization direction 104 of incident light 103 is modulated, and background light is removed by synchronously detecting signal light, to thereby realize high sensitivity.

Data supplied from the **espacenet** database — Worldwide

Family list

2 application(s) for: JP2003028774 (A)

Sorting criteria: Priority Date Inventor Applicant Eca

1 OPTICAL DEVICE USING NEAR-FIELD LIGHT

Inventor: KIGUCHI MASAFUMI ; MATSUMOTO Applicant: HITACHI LTD
TAKUYA (+2)
EC: B82Y15/00; B82Y20/00; (+1) IPC: G01Q10/00; G01Q60/18; G01Q60/22; (+5)
Publication JP2003028774 (A) - 2003-01-29 Priority Date: 2001-07-18
info: JP3793430 (B2) - 2006-07-05

2 Optical apparatuses using the near-field light

Inventor: KIGUCHI MASASHI [JP] ; Applicant: KIGUCHI MASASHI ; MATSUMOTO
MATSUMOTO TAKUYA [JP] (+2) TAKUYA, (+3)
EC: B82Y15/00; B82Y20/00; (+1) IPC: G01Q10/00; G01Q60/18; G01Q60/22; (+5)
Publication US2003015651 (A1) - 2003-01-23 Priority Date: 2001-07-18
info: US6949732 (B2) - 2005-09-27

Data supplied from the *espacenet* database — Worldwide

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-28774

(P2003-28774A)

(43)公開日 平成15年1月29日 (2003.1.29)

(51)Int.Cl.⁷
G 0 1 N 13/14

識別記号

F I
G 0 1 N 13/14

テ-マ-ト⁷ (参考)
A 5 D 1 1 9

G 1 1 B 7/135

G 1 1 B 7/135

B
A
Z

審査請求 未請求 請求項の数11 O.L. (全 13 頁)

(21)出願番号 特願2001-217545(P2001-217545)

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(22)出願日 平成13年7月18日 (2001.7.18)

(72)発明者 木口 雅史

埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株式会
社日立製作所基礎研究所内

(72)発明者 松本 拓也

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

(74)代理人 100068504

弁理士 小川 勝男 (外2名)

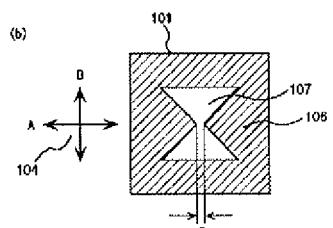
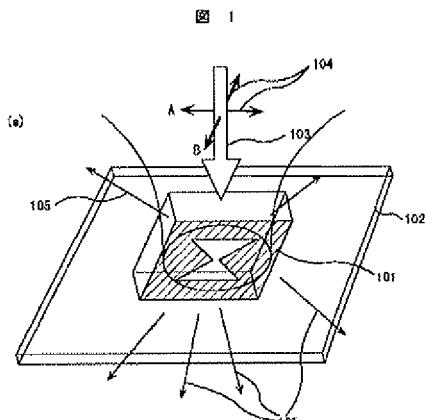
最終頁に統く

(54)【発明の名称】 近接場光を用いた光学装置

(57)【要約】

【課題】高空間分解能と高感度を両立する近接場光学装置を提供する。

【解決手段】異方性のある形状をした金属パターン106に発生する局在プラズモンを用いて高強度な近接場光を狭領域に発生させ、被測定対象物を照明する。入射光103の偏光方向104を変調し、信号光を同期検波することにより背景光を除去して高感度化を実現する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】基板上に配置され尖端部を有する金属部材と、偏光方向を変調するための光源装置と、前記光源装置からの光を前記金属部材の尖端部に照射する光学部材と、前記金属部材の尖端部から発生する近接場光で試料を照明し、前記試料を透過した光、または前記試料に反射もしくは散乱された光を検出する検出器と、前記検出器からの電気信号より前記偏光変調に同期した信号を取り出すための分離器とを有してなることを特徴とする近接場光を用いた光学装置。

【請求項2】偏光方向を変調するための光源装置と、尖端部を有する一個以上の金属部材が設けられたプローブと、試料を保持するための試料台と、前記試料と前記プローブの距離を制御するための距離制御器と、前記光源装置からの光を前記プローブの金属部材の尖端部に照射するための光学部材と、前記プローブから発生する近接場光で前記試料を照明し、前記試料から放出される信号光を検出する一個もしくは複数個の検出器と、前記検出器からの信号より前記光源装置の偏光変調に同期した信号を分離検出するための一個もしくは複数個の分離器と、前記分離器からの信号を処理する信号処理器とを具備してなることを特徴とする近接場光を用いた光学装置。

【請求項3】請求項1又は2に記載の光学装置において、前記光源装置により、前記金属部材の尖端部を照射する光の偏光方向を、前記金属部材の尖端方向に平行な直線偏光と、尖端方向に垂直な方向の直線偏光とに切り替え可能に構成したことを特徴とする近接場光を用いた光学装置。

【請求項4】請求項1又は2に記載の光学装置において、前記金属部材の尖端部の頂角が90度であることを特徴とする近接場光を用いた光学装置。

【請求項5】請求項1又は2に記載の光学装置において、透過率もしくは反射率が偏向により異なる偏光補償器を前記光学部材の光路上に設け、他の光学部品の偏光特性を補償してなることを特徴とする近接場光を用いた光学装置。

【請求項6】請求項5に記載の光学装置において、前記偏光補償器を、前記光学部材の光軸に対して傾斜配置したガラス板で構成したことを特徴とする近接場光を用いた光学装置。

【請求項7】請求項2に記載の光学装置において、前記プローブが、多面錐体形状もしくは円錐形状を有し、その1つの面、もしくは対向する2面に前記金属部材を設けてなることを特徴とする近接場光を用いた光学装置。

【請求項8】請求項1に記載の光学装置において、前記試料は記録媒体であり、かつ、前記基板に配置された尖端部を有する前記金属部材は平面形状で構成したことを特徴とする近接場光を用いた光学装置。

【請求項9】請求項7に記載の光学装置において、前記

プローブにおける、前記金属部材が設けられた面以外の面を、その尖端部に前記光源装置の光の波長の半波長より小さな間隙を設けて所定の金属で被覆してなることを特徴とする近接場光を用いた光学装置。

【請求項10】請求項9に記載の光学装置において、被覆される前記所定の金属が、前記金属部材とは異なる金属であることを特徴とする近接場光を用いた光学装置。

【請求項11】請求項7に記載の光学装置において、前記プローブに設ける前記金属部材の厚みを所定の厚みに制御し、前記プローブから伝播光として透過し前記検出器で検出される光の信号を抑制するよう構成したことを特徴とする近接場光を用いた光学装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、近接場光を用いた光学顕微鏡、光測定装置、分光装置、光記録／再生装置、等の近接場光を用いた光学装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の光学顕微装置では、光はレンズを用いて集光させる。この場合、空間分解能は光波長により制限される。

【0003】これに対して、近接場光学顕微装置では、レンズの代わりに、寸法がナノメートルオーダーの微小構造、例えば、径がナノメートルオーダーの微小開口を有するプローブを用いる。微小構造に光を照射すると、その近傍に近接場光と呼ばれる局在した光が発生する。微小構造を試料に接近させて、対象物を近接場光で照明すると、試料の複素屈折率に応じて、局在した近接場光が伝播光に変わり、遠方の光検出器で観測することができる。その強度は試料の光学特性に依存するので、微小構造を試料表面上で走査すれば微小構造の寸法で決まる空間分解能で試料の光学特性を測定することができる。近年、この技術は、各種光学測定ならびに高密度光記録、光加工など幅広い分野に応用され始めている。

【0004】最も広く用いられている近接場光プローブは、先鋭化光ファイバを金属皮膜し、先端部分に光波長より小さな開口を有するものである。しかし、その近接場光の発生効率は低い。例えば、100nmの微小開口を有する光ファイバの場合には、ファイバから出射する光強度はファイバ入射光強度の0.001%以下である（「アプライド フィジックス レターズ（Applied Physics Letters）」、Vol. 68、pp 2612-2614、1996）。この効率の低さが、近接場光技術を種々の分野へ応用する場合の問題になっている。

【0005】そこで、近接場光発生効率を上げるために、以下のような金属の局在プラズモン励起を利用する方法が提案されている。すなわち、（1）走査型トンネル顕微鏡の金属探針を用いるもの（「特開平6-137847号公報」）、（2）微小開口ファイバープローブの開口中心に金属微小球を設けたもの（「特開平11-1

102009号公報」)、(3) 金属の散乱体をガラス基板底面に設けたもの(「特開平11-250460号公報」)、(4) 三角形の金属パターンを平面基板上に設けたもの(本願と同一の出願人による「特願平2000-73922号」)、(5) 四角錐の2つの側面に金属膜を設けたもの(「Technical Digest of 6th international conference on near field optics and related techniques, the Netherlands, Aug. 27-31, 2000, p100」)、などがある。上記従来技術の(1)から(3)に比べて、(4)は強い近接場光を得ることができ、かつ作成も容易である。

【0006】散乱型プローブを用いた場合には、後述するように背景光の除去が重要である。そのための手段として、(6) プローブを振動させ、振動に同期した光信号のみを検出する方法が、「特開平06-137847号公報」に開示されている。また、別の手段として、(7) 直交する2つの偏光の振幅の差を取る方法が、「特開2000-298132号公報」に開示されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記従来技術の(1)から(5)は、強い近接場光の発生を実現しているが、金属面以外の部分から光が透過するため、それが背景光となり、信号検出のS/N比が低下してしまうという課題を有していた。

【0008】局在プラズモン励起を利用することにより、近接場光の電場強度の絶対値の2乗、つまり単位面積あたりの光子密度を局所的に大きくすることができる。しかし、空間分解能を上げるという目的のためその面積は小さく、近接場光の全光子数、つまり前記光子密度を近接場光の局在面積で積分した値はそれほど大きくならない。

【0009】反面、背景光は、電場強度は小さくても回折限界以上の面積を有するため、全光子数は無視できないほど大きくなる場合が多い。近接場光の面積が背景光の面積(S)の1/Sであり、近接場光の電場強度の絶対値の2乗が背景光のG倍であった場合、近接場光の全光子数は背景光のG/S倍となる。例えば、上記従来技術(4)の方式では、5nm×5nmの領域に局在する近接場光の電場強度の絶対値の2乗が入射光の5700倍になっているが、この近接場光の光子数と同じ光子数に相当する背景光の面積は380nm×380nmとなる。

【0010】これは、光源としてよく用いられる近赤外レーザ光の回折限界以下であるため、通常の装置構成では近接場光よりも背景光の光子数が多くなってしまう。光記録のように非線形な相互作用を利用する場合には、全光子数ではなく単位面積あたりの光子数が効くので、この背景光は問題にならないが、通常の光再生や近接場光学顕微鏡など、近接場光の一部が試料により散乱され

て検出器に入射する量を観測する場合には、背景光も同様に検出器に入射してしまうのでS/N比が1より小さくなってしまう。信号光として試料からの蛍光やラマン光などの2次光を観測する場合も、前記背景光により発生した2次光が背景信号となるため、同じ問題を有する。

【0011】以上は試料近傍の光子数の単純な比較であったが、上記従来技術の(1)、(3)、(5)では背景光が伝播光であるため、非伝播光である近接場光が散乱されて遠方に配置された検出器に入射する効率に比べて、背景光が検出器に入射する効率が一般に高いため、S/N比は更に低下する。

【0012】この問題を解決するために、上記従来技術の(2)、(4)では、局在プラズモンを励起するための金属パターンの周辺を光波長以下の開口部を残して遮光するにより背景光を抑制している。しかし、遮光材料として誘電体を用いた場合には、十分な遮光性を得ることが困難であり、更に熱が発生するなどの問題が生じる。

【0013】これらを避けるために遮光性の高い金属を用いた場合には、次の問題が生じる。局在プラズモンの振動方向に平行な面を有する金属が存在すると、前記金属内部に逆電場が生成してプラズモン励起を阻害する。つまり、開口部を形成する遮光用金属を局在プラズモン励起用金属に接近させると、局在プラズモンの励起が阻害されて近接場光の強度が低下する。

【0014】また、遮光金属の形状と入射光の偏光方向によっては、遮光金属も局在プラズモンが励起されて空間分解能を落とすことになる。そのため、開口部をあまり小さくすることはできず、結果としてS/N比の向上には限度があった。

【0015】また、局在プラズモンの励起領域の大きさは金属の先端部の曲率で決まるので、空間分解能を向上させるためには金属先端部の先鋭化が必要であり、そのためには遮光用金属、局在プラズモン励起用金属の両者共に先端部分の膜厚を厚くすることができない。よって、この部分から光が透過して背景光となってしまい、やはりS/N比が低下するという課題を有していた。

【0016】さらに、上記従来技術の(7)では、直交する2つの偏光の干渉を用いることにより背景光を除去する方法が開示されている。しかし、散乱型プローブを用いているので、構成上、背景光を遮光するための遮光板等を設置することができないため背景光の絶対量が多くなる上、背景光は、試料やプローブ全体による散乱の影響で波面が乱れるため、干渉を用いるだけでは完全に背景光を除去することは困難である。また、試料の表面状態によって波面の乱れ方が変わるため、背景光の除去率も試料の表面状態に大きく影響を受けることになる。

【0017】本発明の目的は、近接場光を用いた光学装置において、空間分解能を犠牲にすることなく、問題と

なる背景光を除去し、良好なS/N比の実現可能な光学装置を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】近接場光強度を強くするためには、金属のプラズモン励起を用いることが効果的である。微小な金属を用いると局在プラズモンを励起でき、その周辺に強い近接場光が発生する。

【0019】背景光を除去するためには、遮光用の金属を設け、その開口部にプラズモン発生用の金属を設ける。これは上記従来技術の(2)、(4)において開示されているが、本発明は、より高いS/N比を実現するために、以下の手段を提供する。

【0020】遮光用金属とプラズモン励起用金属は同じでもよいが、種類や厚みをそれぞれに選ぶことで、遮光性と分解能を独立に制御することができるようになる。更に、前記開口部および金属薄膜部から透過した背景光は、下記の方法で除去する。

【0021】上記従来技術の(4)、(5)に記載されたような非対称形をなす金属に励起される局在プラズモン強度、つまり近接場光強度は、入射光の偏光方向に大きく依存する。反面、背景光強度は、容易に偏光依存性を無くすことができる。平面プローブの場合には垂直入射すれば偏光依存性は無くなり、多角錐プローブの場合でも金属皮膜をし、その厚みを制御することで、偏光依存性を大きく抑制することができる。また、背景光強度の偏光依存性は、これと逆の偏光依存性を有する偏光補償器を用いて打ち消すことができる。そのため、入射光の偏光方向を変調し、検出光強度を前記変調に同期検波すれば、背景光による信号を除去し、近接場光信号のみを取り出すことができる。

【0022】本発明では、プローブに遮光用金属を設けてあらかじめ背景光を少なくしておく。更に、それでも漏れてくる背景光は、光振幅ではなく光強度(光振幅の2乗)の差をとることにより除去する。

【0023】本発明では光干渉を利用しないため、波面がいかに乱れても構わず、試料の表面状態の影響を受けにくいので、試料に対して背景光の除去率を高くできる。

【0024】また、本発明は、蛍光やラマン光などの試料からの2次光観測についても適用できる。試料の蛍光を観測する場合には、近接場光により励起された局所部分からの信号蛍光以外に、入射背景光により励起された部分からの蛍光が背景蛍光として観測されるため、S/N比を悪化させる。蛍光は位相情報を失っているため、干渉を用いて背景蛍光を除去することができない。本発明では、干渉を使用しないため、蛍光試料などからの2次光信号に對しても背景2次光信号を除去でき、顕微蛍光分光装置や顕微ラマン分光装置などへの応用も可能である。

【0025】このようにして、本発明による近接場光を

用いた光学装置は、基板上に配置され尖端部を有する金属部材と、偏光方向を変調するための光源装置と、光源装置からの光を前記金属部材の尖端部に照射する光学部材と、前記金属部材の尖端部から発生する近接場光で試料を照明し、試料を透過した光、または試料に反射もしくは散乱された光を検出する検出器と、検出器からの電気信号より偏光変調に同期した信号を取り出すための分離器とを有してなることを特徴とする。

【0026】また、本発明による近接場光を用いた光学装置は、偏光方向を変調するための光源装置と、尖端部を有する一個以上の金属部材が設けられたプローブと、試料を保持するための試料台と、試料とプローブの距離を制御するための距離制御器と、光源装置からの光を前記金属部材の尖端部に照射するための光学部材、プローブから発生する近接場光で試料を照明し、試料から放出される信号光を検出する一個もしくは複数個の検出器と、検出器からの信号より光源装置の偏光変調に同期した信号を分離検出するための一個もしくは複数個の分離器と、分離器からの信号を処理する信号処理器とを具備してなることを特徴とする。

【0027】また、本発明は、前記光学装置において、前記光源装置により、前記金属部材の尖端部を照射する光の偏光方向を、前記金属部材の尖端方向に平行な直線偏光と、尖端方向に垂直な方向の直線偏光とに切り替え可能に構成する。

【0028】また、本発明は、前記光学装置において、透過率もしくは反射率が偏向により異なる偏光補償器を前記光学部材の光路上に設け、他の光学部品の偏光特性を補償する。

【0029】

【発明の実施の形態】以下、本発明の具体的な実施の形態について、図面を参照して説明する。

【0030】本発明で使用する近接場光プローブは、平面形状のものと、角錐または円錐形状のものがある。光記録の媒体や半導体ウェハーなど、試料の平坦性が良い場合には、平面型プローブを用いればよい。光記録／再生装置もこれに同じである。汎用の顕微装置のように試料の凹凸があるために近接場光が試料に接近できないことが問題になる場合には、プローブを錐形状(例えば、多面錐体形状、もしくは円錐形状)とし、先端を試料形状に沿って走査する。

【0031】まず初めに、平面型プローブとそれを用いた光記録／再生装置について説明する。平面型プローブとしては、上記従来技術の(4)で示されたものと同様の金属パターンを有する平面型プローブを用いる。

【0032】図1(b)は、その一例である平面基板上に3角形形状金属パターンを有する近接場光プローブである。但し、図の縮尺は無視している。5mm角のガラス基板101に、その先端部の曲率が20nmであり、厚みが30nmである直角3角形の形状の金属バタ

ーン（例えば、アルミニウム（A1）パターン）106を、全体が平面になるように設けた。対向する2つの3角形頂点の間隔gは10nmとした。

【0033】入射光の照射面積は四折限界以上になるので、3角形のパターンだけでは、それ以外の部分から光が透過してきて大きな背景光となる。これを遮光するために全体を、例えば、A1で覆い、3角形頂点付近に非被膜領域107を設けている。非被膜領域107が光波長よりも小さくなると透過率が減り、半波長以下になると激減するため、これ以下にする。逆に小さくしすぎると、折角3角形頂点付近に励起されたプラズモンを遮光し減衰させるので、近接場光の広がりよりは大きくする必要がある。ここでは非被膜領域107は一辺が50nmの二等辺三角形とした。

【0034】基板101は、入射光に対して透過性がある材料ならばガラスでなくてもよい。また、金属パターン106は、使用する光波長でプラズモン共鳴が可能な材料を選べばよい。ここでは、金属パターン106はプロープリソグラフィにて作成したが、これに限らず、従来の別の作製方法であってもよい。

【0035】入射光103の偏光方向104が、図1の(a)および(b)に示すA方向の場合には、対向する2つの3角形頂点近傍に局在プラズモンが励起されて、それらの間隙に強い近接場光が発生する。しかし、入射光偏光が、図1の(a)および(b)に示すB方向の場合には、局在プラズモンの励起は少なく、間隙に発生する近接場光強度は小さい。この場合は、A方向の近接場光強度はB方向の約1000倍となっている。

【0036】試料を載せた基板あるいは記録媒体102は、プロープの金属パターンに対向して置かれ、プロープと試料あるいは記録媒体102の距離はgより小さく制御する。対向する2つの3角形頂点近傍に発生した近接場光は、試料あるいは記録媒体102と相互作用して、伝播光105となる。伝播光105には、近接場光の散乱光以外に、非被膜領域107から漏れ出した光、つまり背景光も含まれている。近接場光の散乱光は、試料あるいは記録媒体102の微小領域の光学的性質を反映している。偏光方向104をAとBの方向で変調すると、近接場光の散乱光は大きく変化するが、背景光は変化しないため、偏光変調に同期して伝播光105を観測して、近接場光の散乱光のみを分離観測する。

【0037】ここでは、2つの3角形が対向した金属パターンについて示しているが、本発明は、他のプロープおよび装置についても同様に適用可能である。

【0038】図2は、本発明を光記録／再生装置に適用した一つの実施例である。図1で示した本発明による平面型プロープ201は、サスペンション202に取り付けられており、記録ディスク203に押し付けられる。

アクチュエータ204はトラッキングのための位置微調整に用いる。半導体レーザ205より出射した光は、コ

リーメートレンズ206、ビーム整形プリズム207を通った後、偏光変調器208に導かれ、直線偏光の向きが、図1で示したA方向とB方向で切り替えられる。その後、半透鏡209と対物レンズ210により平面型プロープ201上に集光される。

【0039】対物レンズの焦点方向の位置調整は、アクチュエータ211により行う。記録ディスク203を除く上記部品は全て光ヘッドとしてスライダー上に配置され、通常の光ヘッドと同様に粗動トラッキング用アクチュエータにて位置制御される。

【0040】記録時には、半導体レーザ205の強度を直接変調することにより、記録ディスク201上に記録マークを形成する。この時、偏光変調器208による偏光変調は停止して直線偏光をA方向に固定しておく。別の記録法として、記録信号によって偏光変調器208で偏光方向を変えることにより、近接場光強度を変調してもよい。つまり、記録マークを書きたい時に直線偏光の向きをA方向とし、書きないときにB方向とする。

【0041】再生時は、記録ディスク203上の記録マークの有無により、近接場光の散乱効率が変化し、反射方向に戻る光強度が変化する。この光を、集光レンズ212を用いて光検出器213で検出し、電気信号に変換した後、ロックインアンプ214に入力する。この時、参照信号として、偏光変調器208の駆動信号を用いる。近接場光強度は偏光変調に同期して変調されるので、記録マークによる近接場光の散乱光強度もこれに同期して変化し、同期検波により信号として検出される。しかし、背景光は垂直入射の場合、偏光方向によらないため、反射光信号に含まれる背景光の成分は、同期検波により除去される。

【0042】このようにして、再生信号のみを抽出した後、信号処理回路215に信号を送る。実際には半透鏡209を始めとした各光学部品の透過率の偏光依存性を有するため、同期検波だけでは完全には背景光信号を除去できない。そこで、偏光補償器216を設けて、背景光信号が最小になるようにその傾きを設定した。光軸に傾けて配置したガラス板の透過率はs偏光とp偏光で異なり、その差は入射角によるので、適切な入射角を選ぶことにより前記各光学部品の透過率もしくは反射率の偏光依存性を打ち消すことができ、偏光補償器として働く。

【0043】ここでは、偏光補償器として傾斜配置したガラス板を用いたが、通常偏光フィルターとして用いられる誘電体多層膜や偏光方向により吸収率が異なる物質、例えば色素をドープし、一方向に延伸した膜などを用いても良い。上述の入射光の偏光変調に同期させて信号光を分離検出する方式を、以降、偏光変調・同期検波方式と呼ぶ。

【0044】図1に示したプロープの3角形の尖端部の頂角は広くするほうが、近接場光強度は強くなる傾向が

あった。しかし、この頂角は、以下に示す理由により90度の時が最もS/N比が高くなる。

【0045】局在プラズモンが励起される3角形頂点以外の金属のエッジ部分でも、表面プラズモンによる近接場光増強が生じる。偏光がエッジに垂直方向の時、この増強は最大になり、平行方向の時、ゼロになる。エッジ部分の近接場光強度は、頂点の近接場光強度よりも何桁も小さいが、やはり面積が広く、しかも偏光方向依存性を有するため、一般にはその散乱光成分は上記同期検波で除去しきれない。ところが、3角形の頂角を90度にしておけば、図1のA方向とB方向の両方の偏光について、そのエッジに垂直な方向への射影成分が等しくなるため、エッジ部近接場光強度も等しくなり、同期検波でこれを除去することが可能になる。よって、3角形のエッジ部分に発生する近接場光が邪魔な場合には、3角形頂角を90度にすればよい。

【0046】本実施例では光記録方式への適用を示したが、本発明は光磁気融合方式にも適用できる。また、本実施例では正反射方向に光検出器を設けたが、透過方向、横方向に設けても良い。

【0047】プローブの金属パターンと記録媒体の間に、潤滑剤を塗布してもよい。また、プローブの金属パターンを設けた面に、入射光を透過する誘電体や半導体、例えばガラスなどの薄膜層を設けることにより、ヘッドの保護ならびに記録媒体と金属パターンの距離の制御が可能である。

【0048】次に、錐型プローブについて説明する。図1では平面基板上に3角形の金属パターンを設けたが、試料の凹凸に対応するためには、同様のパターンを針状部材の尖端部に設ければよい。かかる針状部材としては、光ファイバーを化学エッチングや熱延伸の方法を用いて先端を先鋭化した円錐形状のもの、或いは原子間力顕微鏡の探針のように角錐形状(多面錐体形状)のものを用いればよい。顕微蛍光分光装置や顕微ラマン分光装置など、一般には顕微装置は入射光と信号光の波長が必ずしも一致しない。前記針状部材としては、入射光か信号光の少なくとも一方の波長に対し透過性を有した材料を用いる。

【0049】図3は、SiN製の原子間力顕微鏡用カンチレバー300の先端部301に金属302を蒸着したものである。金属としてはAlを用いた。ここでは、2方向からの蒸着により、対向する2面にのみ金属膜を設けたが、一面だけでもよい。また、図3では対向する2面の金属膜の先端部分に間隙が無い構造としているが、これでも頂点近傍側面に強い近接場光が発生する。勿論、図1と同様に頂点に間隙を設けてもよい。

【0050】ここまで構成は、従来技術(5)に記載されている角錐プローブと同等である。しかし、このままで、金属で覆われていない面から透過する光が大きな背景光となってしまい、十分なS/N比を得ることが

困難である。

【0051】もっとも単純な解決法として、図4に示すように他の面を遮光用金属401で被う方法がある。但し、遮光用金属は励起されたプラズモンの電場振動方向に平行になるため、これを弱めてしまうので、少なくともプラズモンの励起範囲より離さなければならない。そのため、図4では遮光用金属の先端部に非被膜部分402を設けている。この部分から光が透過すると背景光になるので、これを抑えるためには、非被膜部分402は当該光の半波長よりも小さくする。このような手段を講じても、開口部がある以上、光は必ず透過するので、背景光は完全には除くことはできない。

【0052】更に、針状プローブの場合には、次に示すような背景光を除ききれない別の要因がある。装置の空間分解能を向上させるためには、探針先端の金属部の曲率を小さくする必要があるが、そのためには先端部の金属膜厚を曲率に比べて同等かそれ以下にする必要がある。金属膜厚が薄いと十分な遮光性能が得られず、金属部から透過してくる光が背景光になる。

【0053】そこで、図5に示すように、金属膜厚を2段階とする。つまり、先端部501のみ金属膜厚を薄くし、先端部以外の部分502は十分な遮光性が得られるような膜厚を確保する。膜厚の薄い先端部501の長さは、背景光を抑える目的からはなるべく短いほうがよく、当該波長の半波長以下が望ましい。しかし、被観測試料の凹凸に探針が追従するためには、膜厚の薄い先端部501の長さは試料凹凸より長く設定しなければならないため、背景光を必ずしも十分には抑圧できない。

【0054】以上に示したように、背景光はプローブの構造により抑えることはできるものの、完全に除くことはできない。当然、上記プローブ構造の工夫だけで十分である用途も存在する。しかし、特に高空間分解能が要求される用途や、凹凸の激しい試料に適用する場合には、十分なS/N比を実現できないことがあるので、前述の平面プローブと同様に、偏光変調・同期検波方式を用いることよい。

【0055】また、偏光変調・同期検波方式と、図4および図5で示したプローブ構造の工夫とを組み合わせれば、より高いS/N比を実現することができる。但し、針状部材の透過率はs偏光とp偏光とで異なるので、背景光を完全に抑えるためにはこれを補償する必要がある。これは、針状部材に設けた金属膜の膜厚を制御することでも実現できる。

【0056】図6は、針状部材としてSiNを用い、金属膜として金(Au)を用いた場合の、p偏光時の透過散乱光強度(T_p)とs偏光時の透過散乱光強度(T_s)との差($T_p - T_s$)の金属膜厚依存性を示している。この場合、金の膜厚を7nmか15nmにすれば、透過散乱強度の偏光依存性が無くなり、当該同期検波方式で除去可能となる。この膜厚は、針状部材と金属の複

素屈折率に依存するため、用いる材料により適切に選ぶ。例えば、針状部材としてSiNを用い、金属にAlを用いた場合の最適値は約3nmとなる。上述のプラズモン励起用金属、ならびに遮光用金属の膜厚を当該膜厚に設定すれば、背景光を同期検波方式にて除去できるため、プローブ構造を簡単にできるという効果がある。より高いS/N比を得るために、上述の2段階膜厚プローブの先端部501の薄い部分を当該膜厚に設定するといい。または、これらと独立に、或いは組み合わせて前記偏光補償器を用いてもよい。

【0057】図5のような構造にした場合、A方向の偏光により先端部のプラズモン励起用金属先端部505にプラズモンが励起される。一方、B方向の偏光の場合は、遮光用に設けた金属の先端部506にプラズモンが励起されてしまう。このプラズモンにより信号光が発生すると偏光変調・同期検波方式の検出信号が減ることになる。そのため、先端部501の長さを十分に取り、試料から遮光用金属を十分離すようにする必要がある。それでも試料の凹凸により両者が接近することが避けられないことがある。

【0058】この問題を解決するためには、遮光用金属として、当該光波長におけるプラズモンの生成効率がプラズモン励起用金属にくらべて低い特性を有する材料を選べばよい。例えば、波長400nmの光に対して、プラズモン励起用金属としてAlを用い、遮光用金属としてAuを用いればよい。当然、上記問題が無視できるような用途に対しては、プラズモン励起用金属と遮光用金属に同一の金属を用いることは可能であり、その場合はプローブの作成が比較的容易になるためコストを抑えることができるという効果を有する。

【0059】図7と図8は、針状プローブの他の実施例である。図7は、前述の四角錐の一方のみにプラズモン励起用金属701を設けたものであり、図8は先鋭化光ファイバーの片面のみにプラズモン励起用金属801を蒸着したものである。それぞれ、遮光用金属702と802が前述の2段階膜厚構造で設けられている。

【0060】図7、図8で示した構造は一例であり、角錐形、円錐形、共に図4に示すようにプラズモン励起用金属2面を対向させて設けてもよいし、図8のように錐形の頂点まで金属が覆っていてもよいし、図7のように僅かな間隙があっても良い。また、すべての構造について、遮光用金属とプラズモン励起用金属の種類や厚みを変えてもよいし、変えなくてもよい。これらは、使用用途とコストに応じて使い分ければよい。

【0061】次に上記プローブの作成方法を説明する。針状部材の片面のみに金属を設ける時には一方向からのみ金属蒸着を行った。先端近傍に非被膜部を設ける際、および2段階膜厚を実現する際は以下の手順を用いた。

【0062】まず、針状部材の目的の面に前記方法で金属薄膜を作成する。その上にフォトレジストを塗布して

先端部を上にして放置すると先端部のレジスト膜厚が薄くなる。その後、ベーリング処理をしてドライエッティングを行うと、レジスト膜厚の薄い先端部から金属がエッチングされ始める。エッチング時間を適切に選べば、非金属皮膜部の長さを制御できる。2段階膜厚にする場合には、あらかじめ当該光波長でプラズモン励起用金属をつけておき、別の種類の遮光用金属をその上から蒸着する。その後、上述と同じ方法でレジスト-エッティング処理を行う。この時、遮光用金属に対するエッティング速度が速く、プラズモン励起用金属に対しては遅い特性を持つエッティングガスを用いると、先端部分では遮光用金属のみが取り除かれ、2段階膜厚が実現できる。最初にプラズモン励起用金属を着けた面とは別の面にも遮光用金属をつけておき、上記方法で2種類の金属の膜厚とエッティング時間を適切に選べば、2段階膜厚と非被膜部を併せ持つ、図5で示した構造が作成できる。

【0063】ここでは、針状部材としてSiN製の原子間力顕微鏡用カンチレバーを用い、その対向する2面にプラズモン励起用金属として最初にAlを10nm、全ての面に遮光用金属としてWを100nm蒸着し、CF₄ガスを用いて上記手順にて図5の構造を作製した。

【0064】次に、図9を用いて、偏光変調・同期検波方式を近接場光学顕微装置に適用した一つの実施例について説明する。3次元位置制御可能な走査ステージ901に配置された透明基板902上に被測定試料903が置かれている。試料に面して、前述の先端部に金属部を有するカンチレバー型プローブ904が配置される。ここでは、位置制御にプローブ顕微鏡で一般に使用されているダイナミックフォース方式を用いて、試料903とプローブ904の距離は約5nmに制御している。そのため、プローブ904はディザー用ピエゾ905を用いて上下に振動させている。但し、プローブ振動を観測するためのレーザと分割フォトダイオード、およびそれに付随する光学系は既知のものなので図示していない。

【0065】試料-プローブ間距離は、近接場光の染出し長以下に設定する必要があり、接触させてもかまわない。距離制御方式は、一般にプローブ顕微鏡で用いられる他の方針、例えば、トンネル電流制御方式、光てこ方式などを用いてもよい。特に、本発明では、従来技術

(6)のように背景光を除くためにプローブを振動させる必要がないため、距離制御もプローブを振動させない方式を採用すれば、プローブの振動に伴う分解能の低下や擬似信号の混入に伴う観察像の複雑化を回避することができるという効果がある。

【0066】半導体レーザ907の出力光をレンズ908でコリメートし、偏光変調器909で偏光方向を図5で示したA方向とB方向とに周期的に切り替え、偏光補償器910を通した後、対物レンズ911用いて、プローブ904の先端に導く。プローブ先端に発生した強い近接場光により試料903が照らされ、信号光が放射さ

れる。

【0067】ここでは、試料の透過光を信号光として検出する例を示す。透過光は、レンズ920で光検出器921に導かれ、電気信号に変換されてロックインアンプ930にて同期検波される。この時の参照信号は、偏光変調器909より得る。ロックインアンプ930の出力はコントローラ931に導かれる。走査ステージ901にて試料面内を走査しながら、位置ごとにロックインアンプ930の出力を測定し、画像処理装置を兼ねたコントローラ931を用いて画像化することにより、試料の光信号像を得ることができる。偏光変調の周波数を f 、および同期検波の時定数を T とすると、 f が $1/T$ より十分大きくなるように設定する。

【0068】尚、図9には試料位置を観察する機構は省略されているが、通常の顕微鏡で用いるような照明系、および目視又はテレビカメラ等の観察系を適宜具備させる。光路中に設けた光学部品とその配置によっては、光が橢円偏光になってしまい、本方法の感度を低下させる場合がある。その場合には、バビネ板等の位相補償板を用いればよい。

【0069】本実施例では、信号光として透過光を用いたが、その他の顕微装置にも適用できる。信号光が反射、散乱、蛍光、ラマン光などでも、一般に用いられる光学部品や分光器等を付加すれば同様の測定が可能である。また、試料が巨視的に異方性を有し、背景光蛍光の強度が偏光によって異なる場合には、これを最小にするように偏光補償器を調整することもできる。

【0070】更に、試料の光導電性を測定する場合には、導電信号をロックインアンプ930で同期検波すればよい。

【0071】本実施例では、入射光をプローブに導入して試料を照射し、透過方向に伝播する信号光を検出したが、一般に近接場光学顕微鏡で用いられる他の照明・検出器配置を用いても良い。つまり、入射光をプローブに導入して試料を照射し、反射方向に放出される信号光を検出する配置、または、入射光をプローブに導入して試料を照射し、プローブに戻る信号光を検出する配置、または、プローブの先端を外側から照明し、プローブに入る信号光を検出する配置を用いてもよい。入射光をプローブに導入して試料を照射し、プローブに戻る信号光を検出する配置では、一般にプローブの色々な面からの反射光が大きな背景光となるため、本発明は特に有効である。

【0072】また、プローブを試料の凹凸に追随させない測定の場合には、図1で示した平面型プローブを用いることができる。

【0073】次に、本発明の別の実施例について説明する。本発明で用いるプローブは、熱延伸法などに比べて、作製法が容易で再現性も高い。よって、多数のプローブを配置することができる。

【0074】図10(a)は、平面型プローブを4個配置した例である。基板1000上に、図1で示したパターンを4個配置する。この時、プローブの中心1001から1004、つまり近接場光が発生する場所は、回折限界よりも離して配置する。入射光1005は偏光変調されており、プローブ中心が一様に照射されるように照射し、光学系1006を用いてプローブ面の像を結像面1007上に拡大結像させる。得られたそれぞれのプローブ中心像の中心に光検出器1011から1014を置き、それぞれの出力をロックインアンプを用いて同期検波する。図では省略しているが、被測定対象物は基板1000と光学系1006の間に設置されている。他は上記実施例と同様である。

【0075】ここでは、一つの入射光1005を用いて、全てのプローブを照明する配置としたが、プローブ毎に別の入射光で照明してもよいし、複数のプローブの組毎に別の入射光で照明してもよい。また、入射光を走査してプローブを順次、照明してもよい。ここでは、4つのプローブについて実施例を示したが、用途に応じてもっと多数のプローブを形成し、同数の光検出器を用意すればよい。

【0076】図10(a)の光検出器1011から1014は一つの撮像管で置き換えるてもよい。これにより各プローブ中心からの信号光を同時に検出できる。この時、入射照明光の偏光変調用の制御信号を、撮像管の垂直同期信号に同期させると、フレーム毎に交互に直交する入射偏光による信号が検出されるため、フレーム間の差を演算することにより、背景光を除去できる。これはロックインアンプを用いた場合に比べてS/N比の改善効果は少ないが、装置の簡便化とコスト低減が可能となる。

【0077】図10(b)に、複数のプローブを用いた場合の別の装置構成の例を示す。ここでは図が簡単になるように2つのプローブの場合を示している。光源(図示しない)からの光が偏光変調器1061から1062を用いて、別々の変調周波数で偏光変調される。これにより各プローブで励起されるプラズモンは各々別の周波数で強度変調されることになる。この時光源は別々でもよいし、一つでもよい。プローブが多数の場合には、一つの光源を用い、偏光変調器として液晶空間変調器を用いればプローブ毎に偏光変調を行うことができるので構成が簡単になる。

【0078】被測定対象物1066からの光信号は一つの光検出器1070により光電変換された後に分岐され、ロックインアンプ1081と1082にて同期検波する。ここで、被測定対象物とは、例えば試料そのもの、或いは試料を載せた基板を指す。各ロックインアンプはそれぞれ対応する偏光変調器からの参照信号を用いて同期検波を行うため、ロックインアンプ1081から1084の出力は、プローブ中心1001から1004からの光信号にそれぞれ対応する。これにより、検出器

を一つにすることができる、装置の小型化が可能となる。【0079】ここでは、2つのプローブについて実施例を示したが、前記実施例と同様に用途に応じてもっと多数のプローブを形成すればよい。

【0080】複数のプローブを一つのスライダー上に配置すれば、光再生の高速化が可能となる。光記録も高速にするには、入射光源もプローブと同数用意し、各プローブ中心をそれぞれ独立に照射できるようにすれば独立の書き込みができる。

【0081】また、本実施例で示した多数プローブを顕微装置に応用した場合には、広面積を短時間で測定観測することが可能となる。例えば、これは、顕微鏡、顕微分光装置、光リソグラフィ、光加工装置などに利用される。この場合の位置制御の方式を、図1.1に示す。

【0082】図1.1 (a)において、多数プローブを配した基板1000を支持板1150に固定する。支持板1150の3点には金属針1151から1153を設ける。これらの針はトンネル顕微鏡の探針でできており、図示しないがそれぞれにトンネル電流を印加、測定できるようにしてある。これらの針はビエゾ素子1161から1163に配置され、独自に基板から突出する長さを微調することができる。

【0083】図1.1 (b)において、初めに、金属針1151から1153は基板1000の底面から飛び出さないようにしておき、平坦試料1170の上に基板100を密着させる。この状態で金属針1151から1153に流れるトンネル電流が一定になるようにビエゾ素子1161から1163に印加する電圧を調整する。次に、ビエゾ素子1161から1163に印加する電圧に一定のバイアスを加えて、金属針を基板から突き出す。先に定めたトンネル電流を設定値として、各金属針1151から1153のトンネル電流が常に設定値となるようにビエゾ素子1181から1183に印加する電圧を制御する。ビエゾ素子1183は図示していないが、ビエゾ素子1161から1163と同様の配置をしていて、3点の支持部を用いており角を調整することができるようになっている。試料と基板間の距離は、前記バイアス電圧とトンネル電流の設定値で調整する。これにより、平坦試料1170と基板1000の距離と平行性を保ったまま、試料を乗せたステージ1171を走査することができる。ステージ1171には、透過光を集光するために、穴1172が空いており、対物レンズ920が接近できるようにしてある。

【0084】ここでは、ビエゾ素子1161から1163を用いて金属針1151から1153の長さを調整したが、金属針の代わりに一様な粒径を有する金属球などを用いれば、ビエゾ素子1161から1163は不要になる。また、本実施例では、平面プローブについて述べたが、角錐または円錐型のプローブを複数配置してもよい。

【0085】平坦度があまり良くない試料の多点観測には、多数のプローブを配置する基板としてS1の薄膜基板が適している。これは、可視光領域の光を透し、かつ柔軟であるので試料との密着性を良くすることができるという利点を持つ。測定の時には、プラズモン励起用金属および遮光用金属パターンと試料の間に電圧を印加して両者を密着させる。後に印加電圧を切り、試料を走査して位置を変え、次の測定を行う。他の構成、手順は前述の実施例と同様であるので説明は省略する。

【0086】更に、より平坦度が悪い試料の多点観測には、図3、図4、図5、図7、図9で示したような角錐または円錐型のプローブを有するカンチレバー、或いは、錐形部先端を平坦にして、当該平坦部に図1で示した平面パターンを有するカンチレバーを複数個配置して、各々のカンチレバーと試料の距離制御を独立に行う構成とすればよい。個々のカンチレバーと試料の距離制御は、光てこ方式、ダイナミックフォース方式等よく知られた方法を用いればよい。但し、この場合には、上記実施例のように距離制御のために試料を動かすのではなく、カンチレバー側を動かす構成となる。また、積極的に距離制御しなくとも、試料をカンチレバーに押し付ければ、試料に凹凸がある場合でも、個々のカンチレバーが撓ることにより、全てのカンチレバーと試料を接触させることもできる。また、試料凹凸を吸収する部材としては、特にカンチレバーでなくともよく、ばね機構を有する部材なら何でも良い。

【0087】多点プローブを用いた場合、試料あるいは基板を走査しなくとも、各プローブ間の距離程度、つまり今の場合は光の回折限界程度の空間分解能を有する画像データを得ることができる。よって、あらかじめ低い分解能で試料を観察できるので、興味のある部分を簡単に探すことが可能になるという効果を有する。

【0088】これまでに説明した実施例では、入射光の偏光を変調するために、電気光学効果を用いた偏光変調器を使用したが、光弾性変調器や回転する半波長板など、他によく知られた方法でもよい。また、偏光変調は直線偏光の2つの向きを断続的に切り替えたが、直線偏光を連続的に回転させてもよい。

【0089】しかし、これらの偏光変調器は一般にサイズが大きく、また高電圧印加や駆動装置が必要となる。そのため、コスト高になり装置の小型化も困難となり、特に光記録／再生装置に用いる場合には問題となる場合がある。図1.2を用いて、コストを抑え省スペースを実現するための偏光変調手段の一例を説明する。

【0090】半導体レーザ1201と半導体レーザ1211が、それぞれの出力光の直線偏光方向1204、1214が直交するように配置されている。それぞれの出力光はコリーメートレンズ1202、1212とビーム整形アリズム1203、1213を介した後、偏光ビームスプリッタ1220により同一光路に導かれる。半導

体レーザ1201の駆動信号1205と半導体レーザ1211の駆動信号1215の位相を180度ずらして、半導体レーザ1201と半導体レーザ1211を交互に点灯させることにより、偏光方向を切り替えることが可能となる。

【0091】ここでは半導体レーザを用いたが、出力を点灯できるレーザおよび外部強度変調器やシャッターにより出力を点灯する機構を付加したレーザなら何でも良い。その例を、図13に示す。

【0092】ここでは、レーザは複数台用意する代わりに1つの直線偏光のレーザ1300を用いた。レーザ1300の出力光をビームスプリッタ1301で2つに分け、半波長板1302を用いて片方の変更を90度回転させ、偏光ビームスプリッタ1220を用いて同軸上に重ね合わせる。光チョッパー1303は、一方のビームが透過するときには、もう一方のビームを遮断し、交互にビームを透過させるような羽根配置にしておく。本実施例を用いれば、安価な測定装置を構成することができる。

【0093】さらに、互いに直交する直線偏光を有し、同期した繰り返し周波数で発振する2つのモードロックレーザからのパルス光列を、交互にパルスが来るよう重ね合わせても、同様に偏光方向が変調された光を得ることができる。

【0094】更に、以上記述した実施例では、偏光変調に同期した信号成分を抽出するためにロックインアンプを用いているが、簡便に変調周波数を通す周波数フィルターを用いて抽出し、増幅、整流してもよい。特に、低成本と省スペースが要求される光記録／再生装置には有効である。

【0095】

【発明の効果】本発明によれば、近接場光を用いた光学装置において、一般に相反関係にある高分解能化と高S/N化との両立が実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は本発明におけるプローブと偏光変調法の概念図、(b)は微小間隙を有する異方性金属パターンを備えた平面型近接場光プローブの概念図。

【図2】本発明を光記録／再生装置に適用したときの装置構成の一例を示す斜視図。

【図3】(a)はプラズモン励起用金属パターンを有するカンチレバーの斜視図、(b)はその先端四角錐部を示す図。

【図4】遮光用金属部を有するプラズモン励起用金属パターンの先端四角錐部を示す図。

【図5】2段階膜厚の四角錐プローブの側面図。

【図6】p偏光入射時にSIN製四角錐プローブの非遮光部より透過散乱する光強度(T_p)とs偏光入射時の同光強度(T_s)との差の被膜Au膜厚依存性を示す図。

【図7】1面のみにプラズモン励起用金属を有する2段階膜厚の四角錐プローブ先端を示す図。

【図8】2段階膜厚構造を有する先鋭化光ファイバープローブの斜視図。

【図9】本発明を近接場光学顕微鏡に適用したときの装置構成の一例を示す図。

【図10】(a)はプローブを多数化したときの構成を示す概念図、(b)はプローブを多数化したときの別の構成を示す概念図。

【図11】(a)はプローブを多数化したときの基板の部分を示す図、(b)は基板—試料間距離制御を説明する概念図。

【図12】偏光変調手段を実現する構成例を説明する概念図。

【図13】偏光変調を実現する別の構成例を説明する概念図。

【符号の説明】

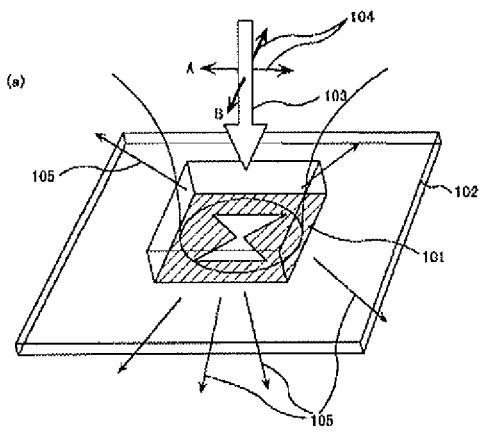
101…ガラス基板、102…試料あるいは記録媒体、103…入射光、104…偏光方向、105…伝播光、106…直角三角形形状Aパターン、107…非被膜領域、201…平面プローブ、202…サスペンション、203…記録ディスク、204…アクチュエータ、205…半導体レーザ、206…コリメートレンズ、207…ビーム整形プリズム、208…偏光変調器、209…半透鏡、210…対物レンズ、211…アクチュエータ、212…集光レンズ、213…光検出器、214…ロックインアンプ、300…原子力顕微鏡用カンチレバー、301…先端部、302…金属、401…遮光用金属、402…非被膜部分、501…先端部、502…先端部以外の部分、505…プラズモン励起用金属先端部、506…遮光用金属先端部、701…プラズモン励起用金属、702…遮光用金属、801…プラズモン励起用金属、802…遮光用金属、901…走査ステージ、902…透明基板、903…被測定試料、904…先端部に金属部を有するカンチレバー型プローブ、905…ディザ用ピエゾ、907…半導体レーザ、908…レンズ、909…偏光変調器、910…偏光補償器、911…対物レンズ、920…レンズ、921…光検出器、930…ロックインアンプ、931…コントローラ、1000…基板、1001、1002、1003、1004…プローブ中心、1005…入射光、1006…光学系、1007…結像面、1011、1012、1013、1014…光検出器、1061、1062…偏光変調器、1066…被測定対象物、1150…支持板、1151、1152、1153…金属針、1161、1162、1163…ピエゾ素子、1170…平坦試料、1171…ステージ、1172…穴、1181、1182、1183…ピエゾ素子、1201…半導体レーザ、1202…コリメートレンズ、1203…ビーム整形プリズム、1204…偏光方向、1205…半導

体レーザ駆動信号、1211…半導体レーザ、1212…コリメートレンズ、1213…ビーム整形プリズム、1214…偏光方向、1215…半導体レーザ駆動

信号、1220…偏光ビームスプリッタ、1300…レーザ、1301…ビームスプリッタ、1303…光チャップ、1304…プリズム。

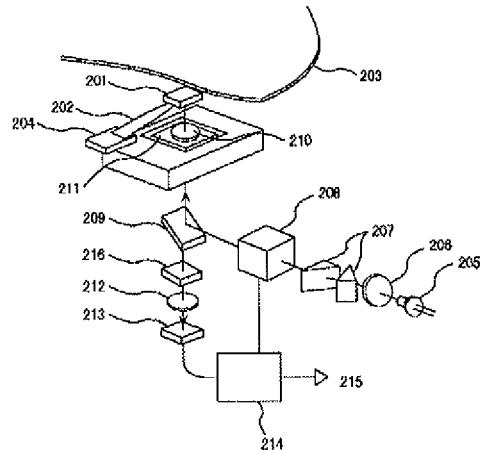
【図1】

図 1



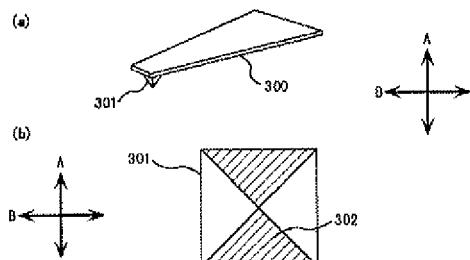
【図2】

図 2



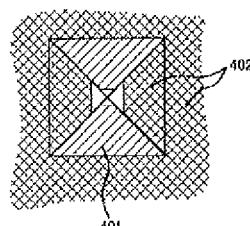
【図3】

図 3



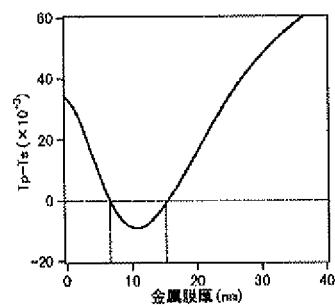
【図4】

図 4



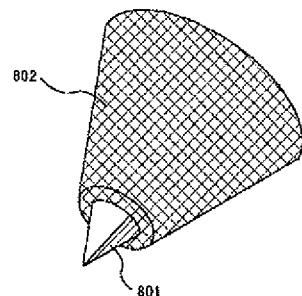
【図6】

図 6



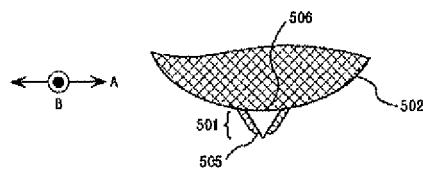
【図8】

図 8



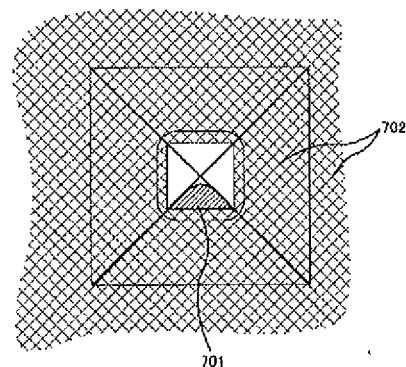
【図5】

図 5



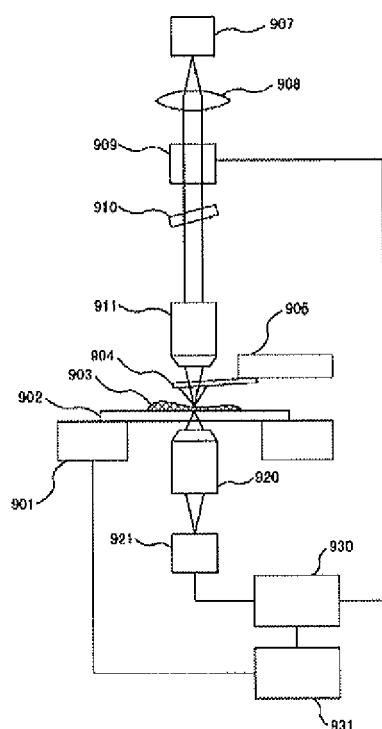
【図7】

図 7



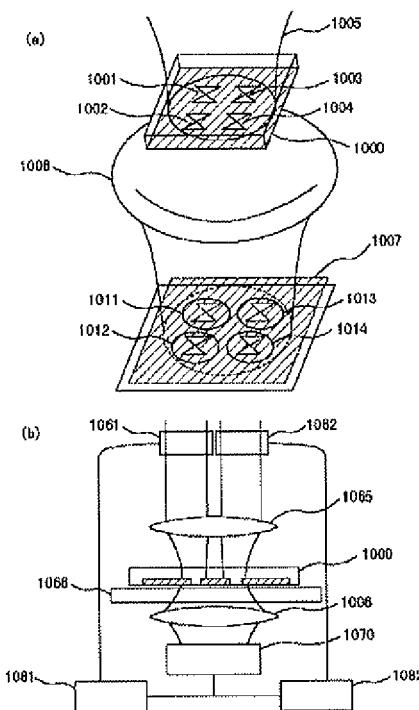
【図9】

図 9



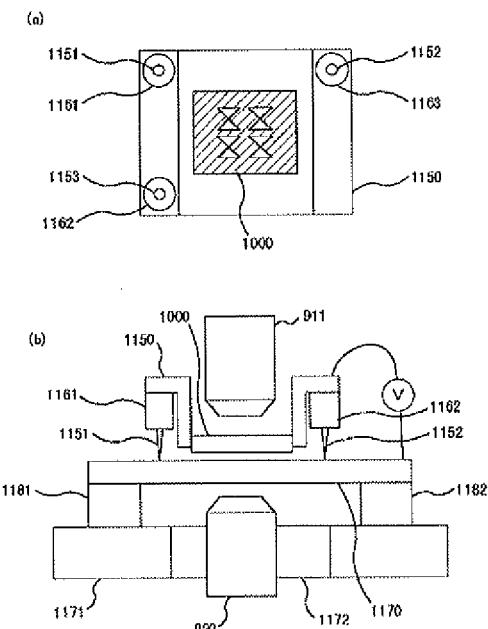
【図10】

図 10



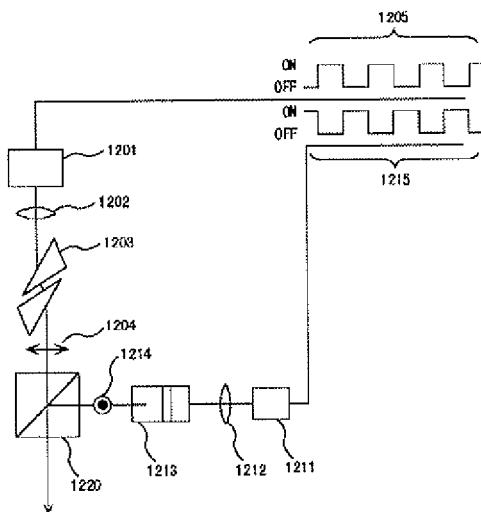
【図11】

図 11



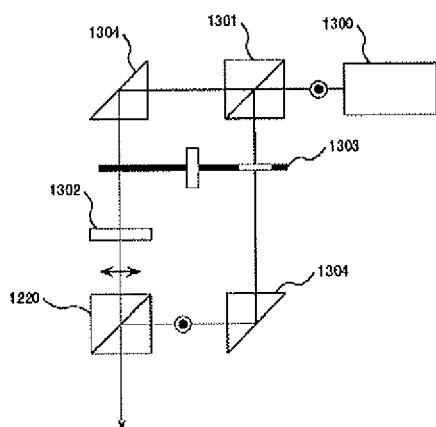
【図12】

図 12



【図13】

図 13



フロントページの続き

(72)発明者 橋詰 富博
埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株式会
社日立製作所基礎研究所内

(72)発明者 織田 勇
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
株式会社日立製作所内
F ターム(参考) 5D119 AA22 BA01 JA34